

УДК 681.5.015

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЖЕТСАТ P-60-SE ПО ОГРАНИЧЕННОМУ НАБОРУ ДАННЫХ

Кузнецов А. В., Макарьянц Г. М.

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С. П. Королёва, г. Самара

Для создания системы управления двигателем необходимо иметь математическую модель объекта управления. Термодинамическая модель использует дифференциальные и алгебраические уравнения, описывающие процессы, протекающие в двигателе. Такие модели являются достаточно точными, однако требуют серьёзных вычислительных ресурсов. Чем меньше допущений принимается при составлении такой модели, тем она более требовательна к ресурсам компьютера. Если проводятся только виртуальные испытания, то это допустимо, но если необходимо проводить полунатурные испытания, где необходимо проводить расчёты в режиме жёсткого реального времени, то это становится недопустимым. Подобные недостатки отсутствуют в модели, построенной с помощью идентификации переходных процессов в двигателе, однако за это приходится платить проведением специальных испытаний для получения необходимого набора данных. Такие модели так же отличаются более низкой точностью по сравнению с термодинамическими (хотя точность идентификации может варьироваться в широких пределах в зависимости от применяемых методов). Идентификация переходных характеристик двигателя позволит получить нелинейную динамическую модель, которая будет использоваться для настройки системы управления в виртуальной среде и проведения полунатурных испытаний с электронным регулятором.

Для идентификации газотурбинных двигателей в последнее время часто применяют нейронные сети. В [1] представлена инженерная методика построения нейросетевой модели двухвального газотурбинного двигателя, включающая алгоритмы обучения и идентификации математической модели двигателя по реальным данным с выбором структуры и размера нейронной сети. В [2] были разработаны нелинейные авторегрессионные экзогенные (NARX) модели запуска одновальной газовой турбины (ГТ) GeneralElectric PG 9351FA. Обучение НС осуществлялось с использованием результатов запусков этого двигателя при разных погодных условиях. В [3] на основе экспериментальных данных разработана и испытана модель на основе искусственной нейронной сети (ИНС) для мониторинга работы газовой микротурбины Turbес T100.

Обучение нейронной сети проводилось только на данных, полученных при переходе двигателя с режима малого газа на максимальный режим – в этом заключается ограниченность набора данных, так как для получения более точной модели необходимо предоставить данные с разных режимов работы и переходных режимов между ними. Для получения наиболее точных результатов был проведён ряд вычислений с изменением количества нейронов в скрытом слое. Так как весовым коэффициентам нейронов в начальный момент времени присваивается случайное значение в определённом диапазоне, то было проведено 15 таких запусков с целью определения распределения точности полученной модели в зависимости от количества нейронов.

Из всех запусков идентификации была выбрана нейронная сеть, у которой один нейрон в скрытом слое, так как она характеризуется наименьшим среднеквадратичным отклонением от результатов эксперимента, а также наименьшим разбросом по отклонениям при каждом запуске. На рисунке 1 изображён переходных процесс

двигателя и полученной нейросетевой модели (сверху) и величина ошибки между моделью и двигателем (снизу).

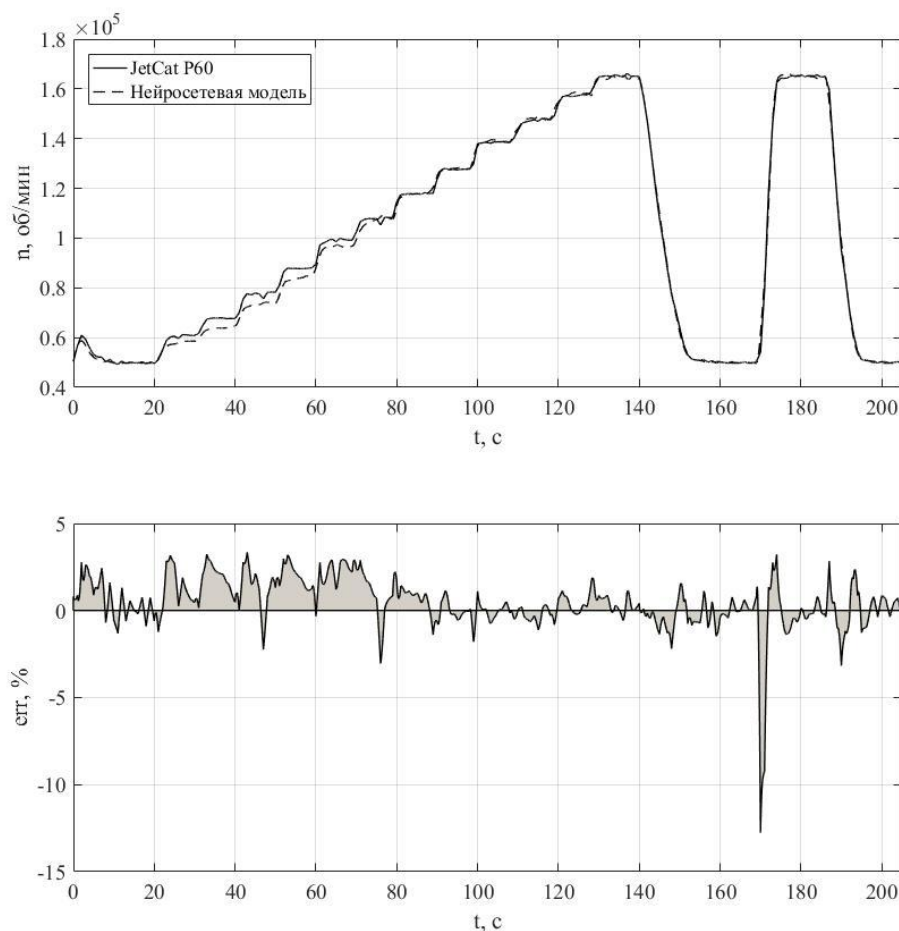


Рис. 1. Валидация нейросетевой модели

Средняя ошибка полученной модели по времени моделирования составила 1,0317 %, а среднеквадратичное отклонение – 1960,5 об/мин. Это показывает возможность создания достаточно точной динамической модели двигателя, используя лишь переход с минимального режима на максимальный и обратно, что позволяет сэкономить на расходе топлива в результате испытаний и снизить нагрузку на двигатель.

Библиографический список

1. Куликов Г.Г., Погорелов Г.И., Бадамшин Б.И., Абдулнагимов А.И. Методика построения нейросетевой модели двухвального ГТД с соблюдением условий структурной адекватности // Авиационно-космическая техника и технология. 2014. № 9(116). С. 68-73.
2. Asgari H., Chen X.Q., Morini M., Pinelli M., Sainudin R., Spina P.R., Venturini M. NARX models for simulation of the start-up operation of a singleshaft gas turbine // Applied Thermal Engineering. 2015. V. 93. P. 368-376.
3. Nikpey H., Assadi M., Breuhaus P. Development of an optimized artificial neural network model for combined heat and power micro gas turbines // Applied Energy. 2013. V. 108. P. 137-148.